


KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma


Heikki Nenonen

ENERGIANKULUTUSMITTAREIDEN TARKKUUS

Opinnäytetyö

Tammikuu 2015

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	OPINNÄYTETYÖ Tammikuu 2015 Tietotekniikan koulutusohjelma Karjalankatu 3 80200 JOENSUU +358 50 260 6800
Tekijä(t) Heikki Nenonen	
Nimeke Energiankulutusmittareiden tarkkuus Toimeksiantaja Karelia-ammattikorkeakoulu	
Tiivistelmä <p>Työn aiheena oli mitata ja tutkia kuinka tarkasti kotitalouksissa käytettävät energiankulutusmittarit pystyvät mittaamaan energiansäästölamppujen kulutuksen. Työ sai alkunsa artikkelista jossa esiteltiin erot jotka energiansäästölamppuilla ja hehkulamppuilla on jännitteen ja virrankäytön suhteen.</p> <p>Työssä mittattiin neljällä eri energiankulutusmittarilla kahta erilaista energiansäästölamppuista koostuvaa kuormaa. Vertailun vuoksi mitattiin myös hehkulampun kulutus. Lisäksi suunniteltiin mittauskytkentä, jonka kautta oskilloskoopilla saatiin mitattua lamppujen virta ja jännite, sekä tallentamaan tulokset jatkokäsittelyä varten.</p> <p>Mittauksissa havaittiin, ettei energiankulutuksessa ole suurta eroa ilmoitettuun nähden, tosin osa mittauksista ei onnistunut lamppujen pienen kulutuksen takia. Sen takia myöskin tarkkojen mittauksien teko oli haastavaa. Lopullisia tuloksia kiinnostavampi asia oli sähköverkosta löytyneet häiriöt, joista voisi mahdollisesti tehdä jatkotutkimusta.</p>	
Kieli suomi	Sivuja 25 Liitteet 2 Liitesivumäärä 8
Asiasanat energiankulutusmittari, energiansäästölamppu, tarkkuus	

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	THESIS January 2015 Degree Programme in Information Technology Karjalankatu 3 FI 80200 JOENSUU FINLAND +358 50 260 6800
Author(s) Heikki Nenonen	
Title Accuracy of Energy Consumption Meters Commissioned by Karelia University of Applied Sciences	
Abstract <p>The purpose of this study was to find out how accurately the energy consumption meters used in households can measure energy saving lights. The idea for this thesis came from an article which showed the differences between regular light bulbs and energy saving lights in terms of voltage and current use.</p> <p>In this project two different groups of energy saving lights were measured with four different energy consumption meters. For comparison the consumption of regular light bulb was also measured. A measurement board was also built from which the voltage and current used by the lamps could be measured and the results saved for later use.</p> <p>It was found out in the measurements that there is no significant difference in the energy consumption between the meters and the measured values, although some measurements could not be done because of the small consumption. That was the main reason why accurate measurements were challenging. More interesting thing than the results were the interferences what was found from the power grid. That could be a topic for future studies.</p>	
Language Finnish	Pages 25 Appendices 2 Pages of appendices 8
Keywords energy consumption meter, energy saving lamp, accuracy	

Sisältö

1 Johdanto.....	5
2 Energiansäästölamput.....	6
2.1 Energiansäästölamppujen ominaisuudet.....	6
2.2 Lampuilla saatavat säästöt.....	7
3 Energiankulutusmittarit.....	8
4 Mittauksen suunnittelu.....	10
4.1 Laitteisto.....	11
4.2 Turvallisuus.....	14
4.3 Kytkennän testaus.....	15
4.4 Häiriöiden suodatuksen suunnittelu.....	17
5 Mittausjärjestelyt.....	19
5.1 Oskilloskooppimittaukset.....	20
5.2 Energiankulutusmittareilla tehdyt mittaukset.....	20
6 Tulosten analysointi.....	21
6.1 Tehon laskeminen matlabilla.....	21
6.2 Energiankulutusmittareiden mittaustulokset.....	22
7 Päätelmät.....	23
8 Pohdinta.....	23
LÄHTEET	25

Liitteet

Liite 1	Kuvakaappaukset lamppujen mittauksista
Liite 2	Matlabissa käytetty koodi

1 Johdanto

Energiansäästölamput ovat yleistyneet kotitalouksissa ja lähes kaikissa sähkö-laitteissa panostetaan pieneen energiankulutukseen. Kehityssuunta ja tavoitteet ovat hyvin ymmärrettäviä, koska ympäristösyistä energiankulutusta yritetään vähentää maailmanlaajuisesti. EU:n Ecodesign-direktiivi on alkanut vähentää perinteisten hehkulamppujen myyntiä vaiheittain jo syyskuusta 2009 lähtien. Aiemmissa tutkimuksissa on selvitetty, millaisia vaikutuksia energiansäästölampuilla on sähköverkkoon. Tämän opinnäytetyön aihe onkin tullut meidän koulussa aiemmin tehdyn opinnäytetyön pohjalta. Siinä huomattiin että energiansäästölamput käyttävät energiaa eri tavalla kuin perinteiset hehkulamput. Tätä havaintoa koulumme lehtori Osmo Massinen halusi tutkia enemmän, ja antoi toimeksiannon jossa tuli selvittää kuinka tarkasti kotitalouksien sulaketauluista löytyvät energiankulutusmittarit mittaavat energiansäästölamppujen kulutusta.

Tässä työssä käsitellään mittausten suunnittelu ja tulokset, keskittyen mittaus-tekniisiin asioihin ja mittauksen suunnitteluun. Työn ensimmäisessä osassa käsiteltiin energiansäästölamppujen toimintaa ja rakennetta, kerrottiin energiankulutusmittareiden toiminnasta ja siitä, millaisia ongelmia mittauksissa voisi ilmetä ja mitä siitä seuraisi.

Toisessa osassa käsiteltiin mittausjärjestelyiden suunnittelu, mittauksissa käytetyt laitteet ja mittaustekniikkaan liittyviä turvallisuusasioita sekä arvioitiin mittauksien virhemarginaalia. Kolmas osa keskittyi enimmäkseen mittaustulosten esittämiseen ja lisäksi käytiin läpi kuinka vertailupohjana olevat kulutusarvot on laskettu. Lopuksi pohdittiin työn sujumista ja sen aikana ilmenneitä asioita, sekä sitä kuinka työtä voisi jatkossa hyödyntää.

2 Energiansäästölamput

Energiansäästölamppuja ovat kaikki sellaiset lamput jotka säästävät sähköä tavalliseen hehkulamppuun verrattuna. Yleensä tällaisia ovat loisteputken periaatteella toimivat pienloistelamput, joissa on ohut ja pitkä loisteputki taivutettuna pieneen kokoon sekä ohjauselektroniikka samoissa kuorissa. Tällöin energiansäästölamppuja voidaan käyttää samoissa paikoissa kuin hehkulamppuja, kuitenkin pienin varauksin.

2.1 Energiansäästölamppujen ominaisuudet

Tärkeimpänä ominaisuutena energiansäästölampuissa on pienempi kulutus, jonka lampun nimikin kertoo. Pääsääntöisesti energiansäästölamppu kuluttaa noin viidesosan siitä, mitä ominaisuuksiltaan vastaava hehkulamppu. Yleinen tapa markkinoinnissa onkin mainostaa 11 W energiansäästölampun vastaavan 60 W hehkulamppua. Merkittävin muutos energiansäästölamppujen kehityksessä on ollut kuristimen muutos magneettisesta elektroniseen, jolloin lampun koko on saatu pienennettyä käytännöllisemmäksi kun lampun vaatima elektroniikka on saatu mahdutettua lampun kantaan. Kulutuksen lisäksi tärkeä ominaisuus on energiansäästölampun elinikä, joka on mallista riippuen viisi- tai kaksikymmenkertainen hehkulamppuun verrattuna. Lamppujen elektroniikan, varsinkin katodien kestävyys kuitenkin riippuu pitkälti siitä kuinka usein lamppua kytketään päälle ja pois. Kestävyyttä on saatu pidennettyä katodien esihehkutuspiirillä, jonka toiminta käytännössä näkyy lampun hitaana syttymisenä kun lamppu sytytetään. Viive kestää yleensä muutamia sekunteja, mutta varsinkin viileämmissä olosuhteissa viive on pidempi. Onkin suositeltavaa ettei energiansäästölamppuja käytettäisi erittäin kylmissä paikoissa, varsinkaan liiketunnistimen kanssa.

[1.]

2.2 Lampuilla saatavat säästöt

Seuraavaksi käsitellään energiansäästölamppuilla saavutettavia kustannuksia. Vaikka yleisesti sanotaan 11 W energiansäästölamppun vastaavan 60 W hehkulamppua, kaikki markkinoilla olevat lamput eivät kuitenkaan tuota vastaavaa valomäärää, joten tässä työssä olevissa kustannuslaskuissa on käytetty 15 W energiansäästölamppua. Laskelmissa on käytetty taulukoiden 1. ja 2. mukaisia lähtöarvoja jotka on otettu Fortumin sivuilta Kesto-sähkösopimuksen hinnastosta. [5.]

Taulukko 1. Laskuissa käytetyt arvot

	Hehkulamppu	Energiansäästölamppu
Lampun teho, W	60	15
Lampun polttoaika, h/vrk	3	3
Hankintahinta, €	0,8	10
Lampun kesto, h	1000	10000
Laskentajakson pituus, v	9	9
Hukkalämmön hyödyntämisa- ste, %	70	70

Taulukko 2. Laskuissa käytetyt sähkön hinnat

Sähkön hinta:	
Energian hinta, s/kWh	6,62
Yleissiirto, s/kWh	2,95
Sähkövero, s/kWh	2,11
Yhteensä:	11,6817 s/kWh

Suoraan taulukosta näkee, että tehoa kuluu jokaista energiansäästölamppulla korvattua hehkulamppua kohden 45 W vähemmän. Tämä kuitenkin koskee vain sellaisia tapauksia, jolloin hehkulampun tuottamaa lämpöä ei oteta huomioon, eli lämmittämättömissä tiloissa ja ulkotiloissa. Arvion mukaan hehkulamppujen ja muiden sähkölaitteiden lämpökuormasta saadaan hyödynnettyä asunnon lämmityksessä noin 70 %. Tämän jälkeen energiansäästölampusta tuleva tehon väheneminen ei ole niin suuri, mutta kuitenkin vielä noin 14 wattia. [2]

Jos ajatellaan että Suomen jokaisesta 2,4 miljoonasta kotitaloudesta vaihdetaan yksi 60 W hehkulamppu 15 W energiansäästölamppuun, vähenee vuotuinen energiankulutus noin 118 Gwh, jos lamppua käytetään taulukon mukaiset 3 h/vrk. Kun otetaan laskelmiin mukaan lamppujen vaihdosta aiheutuva lämmitysenergian lisätarve, vähenee energiankulutus silti 32 Gwh joka on suuruudeltaan 1600 sähkölämmitteisen pientalon kuluttama lämmitysenergia. [2]

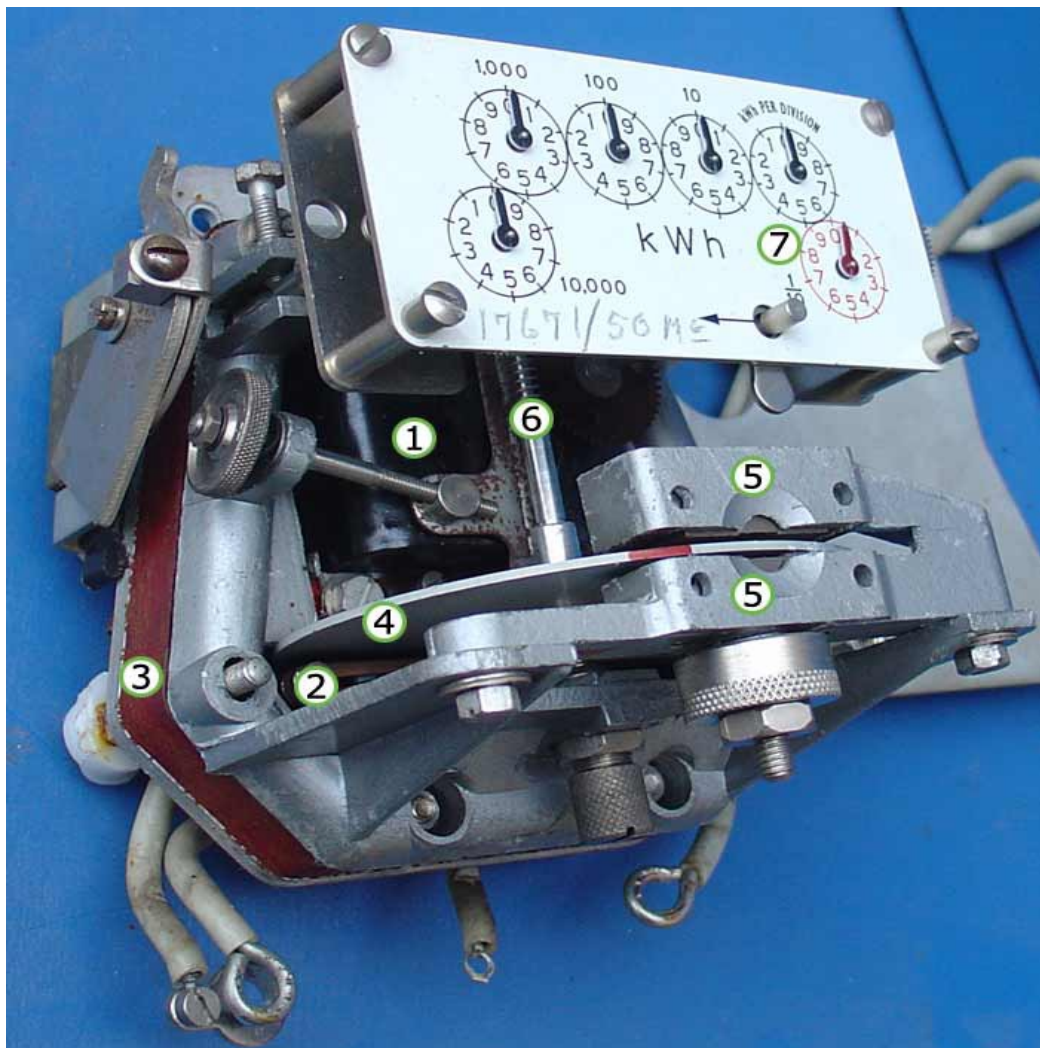
Energiansäästölamppuja käyttämällä voidaan vähentää myös kasvihuonekaasupäästöjä. Voidaan arvioida että kun tuotetaan sähköä 1 kWh, syntyy samalla 200 g hiilidioksidipäästöjä. Tämä vastaa suunnilleen määrää jonka isolla moottorilla varustettu henkilöauto tuottaa päästöjä kilometriä kohti. Jos jokaisesta Suomen 2,4 miljoonasta kotitaloudesta vaihdetaan yksi 60 W hehkulamppu 15 W energiansäästölamppuun, vähentyvät hiilidioksidipäästöt 23 500 tonnia. Kun huomioidaan vielä lisääntynyt lämmitysenergian tarve, vähentyvät päästöt 6 400 tonniin. [2]

Kaikista oleellisin säästö joka kuluttajia tietenkin kiinnostaa mitataan euroissa. Kun edellisten esimerkkien mukaan yksi hehkulamppu korvataan energiansäästölampulla ja käyttöaika on taulukossa oleva 3 tuntia per päivä, huomioiden lisäksi lamppujen hankintakulut ja energiankulutus, saadaan säästöä 5,5 euroa vuotta kohden. Tässä summassa ei ole mukana lämmitysenergian lisätarve.

3 Energiankulutusmittarit

Energiankulutusmittarit tai toiselta nimeltään kilowattituntimittarit ovat osalle meistä tuttu näky omakotitalojen sulaketaulun läheisyydessä. Mittari onkin jo suhteellisen vanha keksintö, ensimmäinen nykyisten mittareiden tyyppinen malli näki päivänvalon jo 1800-luvun lopussa. Onkin ehkä hieman väärin puhua näistä elektromekaanisista mittareista nykyisenä, sillä mittarit ovat muuttuneet elektronisiksi ja 2010-luvulta alkaen myös suurilta osin etäluettaviksi. Tässä opinnäytetyössä pääpaino keskittyy kuitenkin näihin vanhempiin elektromekaanisiin

koska niitä oli saatavilla useampi. Vertailun vuoksi työssä oli kuitenkin mukana myös yksi elektroninen mittari.



Kuva 1. Mekaanisen kilowattituntimittarin rakenne [3]

Mittarin osat

1. Jännitekela, kytketty mitattavan tehon rinnalle
2. Virtakela, kytketty sarjaan kuorman kanssa
4. Pyörivä alumiiniekikko
5. Jarruttavat kestopagneetit
6. Akseli
7. Asteikko ja osoittimet

Mekaaninen kilowattituntimittari toimii induktioperiaatteella ja siinä on sähkömagneetit, jotka aiheuttavat pyörrevirtoja alumiiniekkoon ja nämä pyörrevirrat saavat kiekon pyörimään. Alumiiniekkon toisella laidalla on kestopagneetti, joka pyrkii hidastamaan kiekon pyörimistä. Tämä kiekon pyöriminen on suoraan verrannollinen sähkömagneettien kautta kulkevaan tehoon. Kiekon pyöriminen välitetään rattaiden välityksellä laskuriin, josta sitten kulutettu teho voidaan lukea. /3/

Nykyään asennettavat mittarit ovat lähes poikkeuksetta staattisia. Ne mittaavat elektronisesti, eikä mittaus perustu liikkeeseen kuten induktiomittareissa. Mittakomponentit tuottavat mittapulssia, joka vastaa kulutetun energian mittayksikköä. Yleensä pulssi vastaa yhtä kilowattituntia. Staattisten mittareiden etuna on mm. parempi tarkkuus, monipuolisuus sekä halvempi valmistus- ja hankintahinta. Staattinen mittari ei myöskään sisällä kuluvia osia, joten se on lähes täysin huoltovapaa. Lämpötilan, taajuuden ja jännitteenvaihtelut eivät aiheuta muutoksia staattisen mittarin mittaustarkkuuteen, toisin kuin induktiomittareissa. /4/

4 Mittauksen suunnittelu

Mittauksissa tärkeintä oli se, että tulosten paikkaansa pitävyys voidaan osoittaa ja pyritään poistamaan tai minimoimaan kaikki mahdolliset virheet ja häiriötekijät sekä viimeistään mittausten analysoinnissa arvioidaan mahdollinen virhemarginaali. Koska valmiin mittalaitteen hankkiminen vain näitä mittauksia varten olisi ollut turhan suuri sijoitus, päätin suunnitella ja rakentaa tarpeisiini riittävän mitauskytkennän itse käyttäen elektroniikan peruskomponentteja, joita löytyi jo koululta jonkin verran ja niitä pystyy tarpeen mukaan helposti hankkimaan lisää ilman suuria lisäkustannuksia.

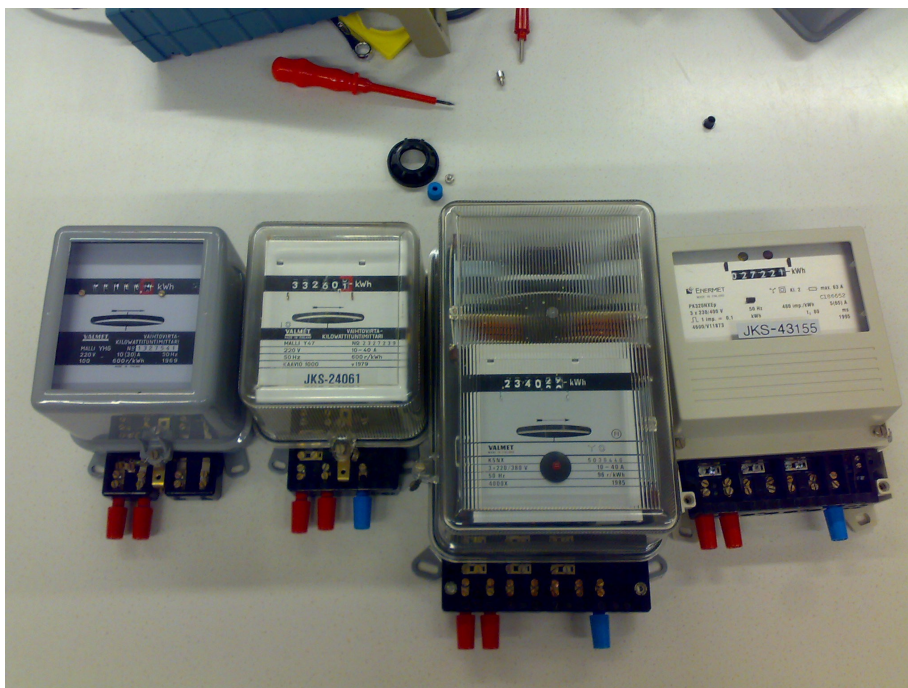
4.1 Laitteisto

Lamppujen tehonkulutuksen vertailumittaukset tein koulun sähkölaboratoriosta löytyvällä Tektronixin TPS 2012 -oskilloskoopilla. Se on kaksikanavainen digitaalinen oskilloskooppi josta on mahdollista ottaa ruudunkaappauksia ja mittaustietoa muistikortille, käyttäen laitteen etupaneelista löytyvää muistikorttipaikkaa tai suoraan tietokoneelle liitäntäjohtojen avulla. Liitäntäjohtoa käytettäessä tietokoneelta tulee löytyä oskilloskoopin valmistajan ohjelmisto, jolloin kuvaruutukaappaukset ja mittausdata saadaan helposti muutamalla napinpainalluksella tietokoneelle, ja tallennettua yleisimpiin teksti- ja grafiikkaformaatteihin. Päädyin käyttämään jälkimmäistä tapaa, koska se tuntui helpommalta ja käytössä ei ollut sopivaa muistikorttia, eikä käyttämissäni tietokoneissa muistikortinlukijaa.

Sain mittauksia varten lainaan neljä erilaista energiankulutusmittaria, joista kaksi oli yksivaihemittareita ja kaksi oli kolmivaihemittareita. Käytössä olisi ollut myös kolmas kolmivaihemittari, mutta päätin jättää sen pois mittauksista hankalan luettavuuden takia. Mittarin etupaneeli oli suunniteltu sillä tavalla, että kilowattituntien kymmenesosat eivät näkyneet, jolloin mittarin tarkkuus olisi ollut vain yksi kilowattitunti. Se on liian suuri yksikkö tämäntyyllisissä mittauksissa, jossa mittausajat ovat lyhyet ja suuri tarkkuus suotavaa. Molemmat yksivaihemittarit sekä toinen kolmivaihemittari olivat hieman vanhempaa mallia, eli mekaanisia mittareita, ja toinen kolmivaihemittari oli uudempaa tekniikkaa edustava elektroninen mittari. (Kuva 2.)

Mittareiden valmistajat ja tyypit:

- Valmet YH6, 1-vaihemittari, 0,01 kWh:n lukematarkkuus
- Valmet Y47, 1-vaihemittari, 0,01 kWh:n lukematarkkuus
- Valmet K5NX, 3-vaihemittari, 0,1 kWh:n lukematarkkuus
- Enermet PK320NXEp, 3-vaihemittari, 0,1 kWh:n lukematarkkuus



Kuva 2. Energiankulutusmittarit luettelon mukaisessa järjestyksessä vasemmalta oikealle.

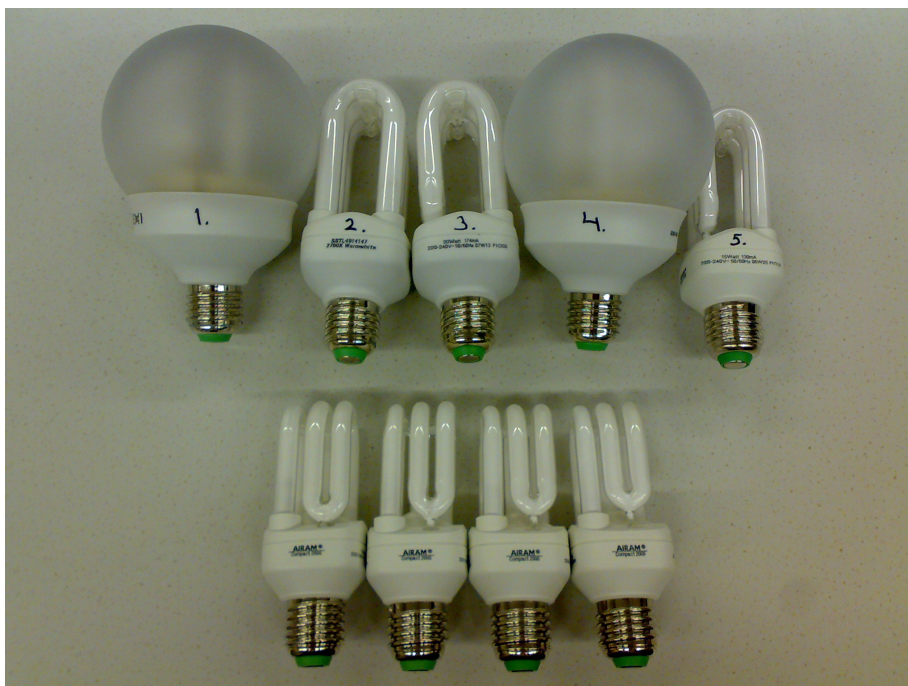
Mittauksissa käytetyt energiansäästölamput sain myös lainaan. Lamppuja oli useita erilaisia, joten päätin valikoida käytettävät kuormat siten, että toisessa kuormassa olisi mahdollisimman suuritehoiset, keskenään erilaiset lamput ja toisessa kuormassa käytettäisiin keskenään samanlaisia lamppuja. Kuormassa olevien lamppujen määrä rajautui viiteen, sillä koululla ei ollut enempää lampunkantoja johon lamput olisi voinut kytkeä.

Ensimmäisessä kuormassa olevat lamput:

- Megaman GSV 420 Compact Globe, 20 W, 174 mA
- Airam Compact 2000, 20 W, 174 mA
- Airam Compact 2000, 20 W, 174 mA
- Megaman GSV 420 Compact Globe, 20 W, 174 mA
- Airam Compact 2000, 15 W, 130 mA

Toisessa kuormassa olevat lamput:

- 4 kpl Airam Compact 2000, 11 W,



Kuva 3. Energiansäästölamput. Ylhäällä ensimmäinen kuorma ja alhaalla toinen.

Olenaisena osana laitteistoon kuului mittauskytkentä, jonka läpi lamppujen tehonkulutusta mitattiin oskilloskoopilla. Kytkentä suunniteltiin työn alussa ja suunnittelun kannalta tärkeitä seikkoja olivat oskilloskoopin kestävä jännite, mitattavan kuorman tehonkulutus sekä kytkennässä olevien komponenttien tehonkesto. Oskilloskoopin käyttöohjeesta löytyi suositus, että mitattavan jännitteen tulisi olla suurimmillaan 13 V, muuten mittaustarkkuus kärsii ylimmillä taajuuksilla. Tässä vaiheessa en vielä tiennyt kuinka suuri taajuuksia tulisin mitaamaan, joten päätin ottaa tuon 13 V lähtökohdaksi laskuille. Jotta kytkennästä saataisiin ulos haluttu 13 V, oli helpoin tapa rakentaa vastusjako jännitteen pienentämiseksi. Kun edellä mainitun jännitteen suhteutti verkkojännitteen 230 volttiin, tuli siis vastusjaon suhteeksi noin $1/17,7$. Tuohon oli hyvä ottaa vielä hieman pelivaraa ja määrittää suhteeksi $1/20$.

Vastusarvoiksi valikoitui 120 k Ω ja 6 k Ω . Seuraavaksi piti laskea Ohmin lain mukaan ovatko vastukset sopivan kokoiset, vai pitääkö arvoja muuttaa johonkin suuntaan. Tarvittavat kaavat:

$$U_1 = R_1 \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$U_2 = R_2 \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (3)$$

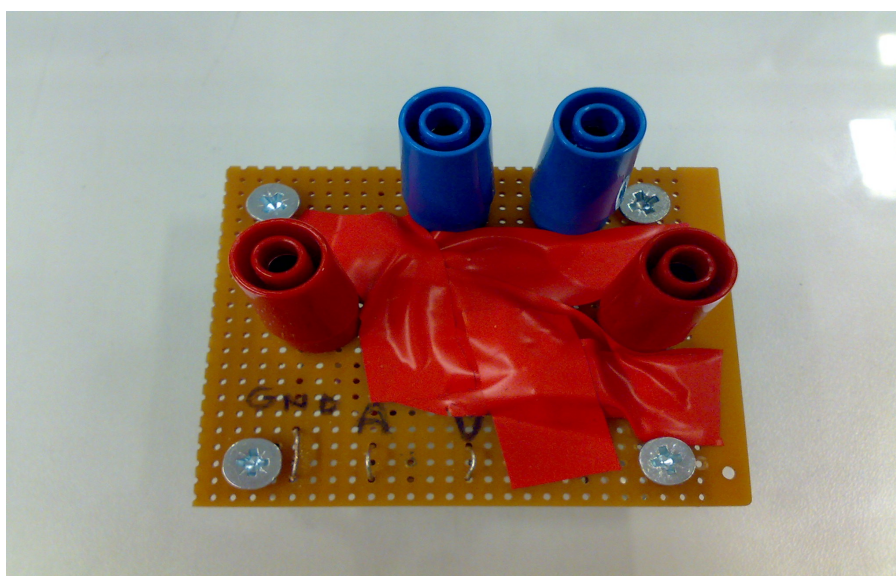
joissa U =kytkennän kokonaisjännite
 U_1 =ensimmäisen vastuksen yli kulkeva jännite
 U_2 =toisen vastuksen yli kulkeva jännite
 R_1 =ensimmäisen vastuksen arvo
 R_2 =toisen vastuksen arvo
 P =teho

Kaavalla 1 laskin ensimmäisen vastuksen yli kulkevan jännitteen ja tulokseksi tuli melko tarkalleen 219 voltia. Vastaavalla tavalla käyttämällä kaava 2, laskin toisen vastuksen yli kulkevan jännitteen ja sain tulokseksi 11 V. Näiden tulosten avulla laskin sitten kaavaa 3 käyttämällä vastuksiin jäävän tehon, josta sain tulokseksi että 120 kΩ vastukseen jää 0,4 W ja 6 kΩ vastukseen 0,02 W. Käytössäni olevat vastukset olivat tehonkestoiltaan 0,25 W, joten isomman vastuksen arvo oli helpoin saavuttaa muodostamalla vastus neljästä 120 kΩ vastuksesta kytkemällä ne ensin pareittain rinnan, ja siitä edelleen sarjaan. Näin ollen teho jakaantuu useammalle vastukselle eikä tehonkesto ylitä. Pienempään vastukseen jäävä teho oli sen verran pieni että yksi vastus riitti.

4.2 Turvallisuus

Kun mittauskytkennän komponentit olivat selvillä, aloin suunnitella kuinka kytkennästä saisi sellaisen että se on helppo kytkeä lamppuihin ja verkkojännitteeseen, sekä myös irrottaa niistä. Päädyin laittamaan mittauskytkennän komponentit pienelle piirilevyille, johon tulee liitännät lamppukuormalle ja jännitteelle, sekä mittauspisteet jännitteelle ja virralle. Liitännät lamppukuormalle toteutin käyttämällä banaaniliittimiä, jollaiset liitin myös energiankulutusmittareihin. Tällä

tavoin mittarin sekä kuorman vaihto onnistuu helposti ja nopeasti. Koululla olisi ollut mahdollisuus jyrsiä kytkennälle siisti piirilevy, mutta sekin olisi vaatinut jonkun verran aikaa kun piirilevy olisi täytynyt suunnitella ja piirtää tietokoneella ennen jyrsimistä. Lisäksi jälkeenpäin tehdyt mahdolliset muutokset kytkentään olisi ollut hankala tehdä, koska esimerkiksi kytkennän komponenttien lisäys olisi vaatinut uuden piirilevyn tekemistä. Päädyin sitten sijoittelemaan komponentit koekytkentälevylle, jolloin muutoksia on helpompi tehdä. Koekytkentälevyn kiinnitin vielä pleksilevyn palaseen, jottei vahingossakaan pääse missään vaiheessa kosketuksiin jännitteellisten osien kanssa, sekä samasta syystä suojasin levyllä sijaitsevat vastukset sähköteipillä.



Kuva 4. Mittauskytkentä

4.3 Kytkennän testaus

Ennen varsinaisia mittauksia energiansäästölamppuilla, kytkentää piti tietenkin testata varmistuakseni että kaikki toimii kuten pitää. Lisäksi testausvaiheessa saa helposti selville kytkennän sisääntulo -ja ulostulojännitteen suhteen, joka on olennaista energiankulutuksen laskemisen kannalta myöhemmin. Suhteen saa tietysti myös laskettua kytkennässä käytettyjen komponenttien arvoista. Ensimmäisen testin suoritin signaaligeneraattorin ja oskilloskoopin avulla, jotta kytkennän toiminnan näkisi pienemmillä jännitteillä ensin, ja voisi varmistua että on

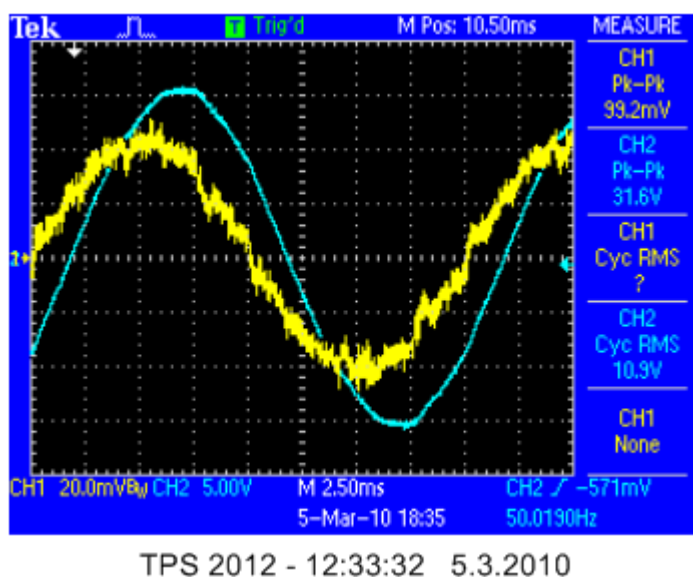
turvallista siirtyä tekemään testejä verkkojännitteellä. Samalla testasin kytkennän taajuusvastetta ja arvioin sitä, kuinka laajalla taajuusalueella mittauskytkeä on käyttökelpoinen. Testien perusteella tulojännitteen ollessa 20,78 V, lähtöjännite oli 906,2 mV signaalin taajuuden ollessa 50 Hz. Taulukossa X näkyy koko testin tulo -ja lähtöjännitteet eri taajuuksilla.

Taulukko 3. Testimittaus signaaligeneraattorilla

Taajuus	Tulojännite (V)	Lähtöjännite (mV)
50 Hz	20,78	906,2
100 Hz	20,78	906,2
500 Hz	20,63	893,7
1 kHz	20,63	893,7
5 kHz	20,63	875
10 kHz	20,47	881,2
50 kHz	20,63	881,2
100 kHz	20,78	887,5
500 kHz	21,09	806,3
1 MHz	21,56	718,7
3 MHz	22,19	706,2

Kuten taulukosta näkyy, testin perusteella kytkentä on käyttökelpoinen ainakin 100 kHz taajuuksille asti, josta eteenpäin jännitteiden ero alkaa kasvaa enemmän. Lisäksi mittaustuloksista voi laskea, että lähtöjännite pienenee tulojännitteeseen nähden riittävästi ja seuraavaksi voi siirtyä käyttämään verkkojännitettä.

Seuraavassa testauksessa päätin käyttää hehkulamppua kuormana, koska se on niin sanotusti helppo kuorma eikä käytä loistehoa, eikä siten aiheuta häiriöitä mittaukseen. Testi sujui odotusten mukaan hyvin, ja oskilloskoopin näytteistä matlabilla laskettu teho oli likimain sama kuin lampun ilmoitettu energiankulutus. Seuraavaksi siirryin testaamaan kapasitiivisen kuorman vaikutusta mittaukseen ja lisäsin hehkulampun rinnalle 330 nF kondensaattorin. Oletin että tämä muutos aikaansaa vain vaihesiirtoa jännite- ja virtakäyrien välille, mutta samalla virtakäyrään muodostui odottamattomia häiriöitä, joka vaikutti merkittävästi lampun kulutuksen laskentaan. Seuraavassa kuvassa näkyy hehkulampun häiriölliset jännite- ja virtakäyrät kun kondensaattori on lisätty lampun rinnalle



Kuva 5. Hehkulampun jännite- ja virtakäyrät kondensaattorin kanssa

4.4 Häiriöiden suodatuksen suunnittelu

Oli selvää että mittauksessa on nyt muitakin taajuuksia mukana, koska edellisessä mittauksessa ilman kondensaattoria jännite- ja virtakäyrät olivat sinimuotoiset ja täten siis taajuus oli 50 Hz. Asian varmisti vielä oskilloskoopista löytyvä fft-muunnos, joka näyttää virran ja jännitteen taajuusspektrin. Spektriä tutkimalla havaitsin että merkittävin häiriö oli n. 20 kHz paikkeilla, mutta häiriöitä löytyi alemmiltakin taajuuksilta. Oli siis selvää että häiriöt tulivat nyt sähköverkosta, koska pelkkä kondensaattori ja hehkulamppu ei sellaista aiheuta. Ennenkuin mittauksia pystyi luotettavasti tekemään, oli sähkönsyöttöön rakennettava ali-päästösuodatin joka suodattaa mahdollisimman hyvin yli 50 Hz taajuudet.

Seuraavaksi piti siis tutkia millaisen suotimen saisi rakennettua koululta löytyvistä komponenteista ja millaisen rajataajuuden niillä saisi aikaan. Selvitin että käyttööni sopii yksinkertainen LC-suodin, joka sisältää vain kelan ja kondensaattorin. Kela kytketään sarjaan jännitejohtimen kanssa, ja kondensaattori rinnan kuorman kanssa. Tähän käyttöön sopivia kondensaattoreita koululta löytyi 8 kappaletta, jotka olivat jännitekestoltaan riittäviä ja yhden kondensaattorin arvo oli 330 nF. Kytkeällä nämä rinnan tuli kokonaiskapasitanssiksi 2640 nF,

joten seuraavaksi piti selvittää saako koululta löytyneistä keloista muodostettua yhdistelmän, jolloin kokonaisinduktanssi on riittävän iso.

Kelat olivat ilmasydämiä ja induktanssiltaan 9 ja 35 mH. Kun halutaan mahdollisimman suuri induktanssi, kelat tulee kytkeä sarjaan jolloin kokonaisinduktanssi on yksittäisten kelojen summa. Esimerkkinä voidaan laskea rajataajuus alipäästösuotimelle, kun rinnankytkettyjen kondensaattorien kokonaiskapasitanssi on 2640 nF ja käytetään kolmea 35 mH kela sarjassa.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

jossa f_c =rajataajuus

L =induktanssi

C =kapasitanssi

Edellä mainituilla arvoilla laskettuna suotimen rajataajuudeksi tulee noin 302 Hz, joka suodattaisi korkeammilla taajuuksilla olevat häiriöt, mutta rajataajuus saisi silti olla alempana. Koska kapasitanssia ei enää voinut käytössä olevilla komponenteilla nostaa, täytyi kelojen induktanssia nostaa asettamalla niille rautasydämet. Rautasydämisessä kelassa kulkevan virran muutos aiheuttaa johtimen ympärille muuttuvan magneettivuon, joka puolestaan synnyttää sähkömotorisen voiman. Tämä puolestaan magnetoii rautasydämen ja vahvistaa magneettikenttää käämin sisällä, jolloin kela alkaa vastustamaan vaihtovirran kulua. Tämäkään kokeilu ei nostanut kapasitanssia tarpeeksi, vaan piti miettiä vaihtoehtoja ratkaisua.

Seuraavaksi testiin joutui koululta löytynyt iso vaihtovirtamuuntaja, joka sisältää kolme isoa käämiä ja jotka ovat kytkettävissä yksitellen tai yhteen, riippuen johdotuksista. Ensimmäisenä mittasin käämien induktanssit yksitellen ja arvot olivat 397, 347 ja 410 mH. Nämä kelat sarjassa muodostivat 1154 mH induktanssin, jota sain vielä kasvatettua ennestään pienempiä keloja lisäämällä. Tässä vaiheessa minulla oli suodin jonka rajataajuus oli 70 Hz, joten pääsin kokeilemaan suodinta käytännössä. Testausvaiheessa kuitenkin huomasin että induktanssin kasvattamisella on myös toisenlainenkin vaikutus. Kela nimittäin varastoi energiaa sen läpikulkevan virran muodostamaan sähkökenttään ja tämä varastoitu-

nut energia pyrkii vastustamaan kelan läpi kulkevia virran muutoksia. Tämä ominaisuus ilmeni testeissä sillä tavoin, että kuormana olleet energiansäästölamput eivät enää syttyneet, koska ne tarvitsevat syttymishetkellään enempi virtaa kuin esimerkiksi hehkulamppu. Tässä vaiheessa piti alkaa etsiä kompromissia sopivan induktanssin löytämiseksi, kuitenkin siten että kelan muodostaman suotimen rajataajuus ei nouse liian isoksi. Tämä onnistui helposti siten että kytkin isomman lamppukuorman kytkentään ja aloin pikkuhiljaa pienentää induktanssia, ensiksi ottamalla pois käytöstä pienempiä keloja. Lopulta käytössä oli enää muuntajan isot kelat eikä lamput edelleenkään saaneet tarpeeksi virtaa syttyäkseen. Onneksi muuntajassa oli mekaanisesti toteutettu säätö induktanssin pienentämiseksi, jota käyttäen sopivan arvon sai haettua.

Lopullinen kelan induktanssi jolla kaikki lamput syttyi, oli 911 mH. Tästä pääsin eteenpäin testaamaan suodinta käytännössä, eli laittamalla kuormaksi hehkulampan. Jännite- ja virtakäyrät piirtyivät siististi ja seuraavaksi pääsin kokeilemaan kuinka käy, kun lisään kondensaattorin saadakseni aikaan vaihe-eroa jännitteen ja virran välille. Tämä oli juuri se testi joka aiemmin paljasti verkosta tulevat häiriöt. Nyt pystyin ilokseni toteamaan että jännite- ja virtakäyrät piirtyivät edelleen siistissä sini-muodossa, ja kondensaattori sai aikaan vain pienen vaihe-eron käyrien välillä. Tässä vaiheessa totesin mittauskytkennän toimivaksi ja pääsin aloittamaan mittaukset lamppukuormien kanssa.

5 Mittausjärjestelyt

Mittaukset suoritin koulun alakerrassa sijaitsevassa sähkölaboratoriossa, josta löytyi kaikki tarpeellinen mittauksia varten. Laboratorio on varustettu työpöydillä, jotka sisältävät oskilloskoopin, vastusmittarin ja säädettävän vaihtovirtalähteen joita käytettiin mittauksissa. Myös turvallisuuden kannalta tärkeä asia eli vikavirtasuojat löytyi pöydistä. Näiden lisäksi käytin tilasta löytyviä lampunkantoja jotka oli varustettu käyttöön soveltuvilla banaani liittimillä ja E27-lamppukannalla. Liittimet ja lampunkanta oli turvallisuuden vuoksi asennettu ja johdotettu suljettuun rasiaan, jolloin jännitteiset liitokset jäivät kotelon sisään suojaan. Kuten aiemmin

mainitsin, kytkennät toteutin suojatuin banaaniliittimin, joten jännitteisiä osia ei ollut mittausten aikana esillä.

5.1 Oskilloskooppimittaukset

Oskilloskooppimittaukset olivat näistä kahdesta suoritetusta mittaustavasta nopein, koska energiankulutuksen laskua varten tarvittavan tiedon sai oskilloskoopista lähes välittömästi kun jännite oli kytketty ja lamput syttyneet. Mittauskytkentään kytkettiin suodatuksen kautta säädettävä verkkojännitemuuntaja sekä lamppukuorma, jonka jälkeen virrat voi laittaa päälle ja aloittaa mittaus. Oskilloskooppi kytkettiin rakentamani mittauskytkennän mittauspisteisiin ja tallensi laskemista varten jännitteen ja virran arvoja 2500 kappaletta, joista lamppujen vievä teho saatiin laskemalla jokaisesta näytteestä senhetkinen teho ja lopuksi ottamalla keskiarvo tuloksista. Energiansäästölamppujen tapauksessa näytteenottotaajuus oli 25 kHz, kun taas hehkulampun 10 kHz. Näytteenottotaajuutta valittaessa tärkeintä oli selvittää, miten paljon virta- ja jännitekäyrät sisältävät harmonisia särökomponentteja jotka vaikuttavat tehon laskemiseen. Tämäkin asia oli nykYTEKniikkaa hyväksikäyttäen helppo havaita, sillä käytössä ollut oskilloskooppi osasi tehdä virta- ja jännitekäyriille FFT-muunnokset, jolloin sain esiin käyrien taajuusspektrin ja näin millä taajuudella asti komponentit ovat. Kun mittaustiedot oli tallennettu, otin vielä jännitteen ja virran taajuusspektreistä sekä jännitteen ja virran käyristä kuvankaappaukset selventämään tilannetta ja tulosten raportointia.

5.2 Energiankulutusmittareilla tehdyt mittaukset

Näitä mittauksia suorittaessa mittauskytkentää ei enää tarvittu, vaan muuntaja kytkettiin suodatuksen kautta energiankulutusmittariin, ja siihen kytkettiin lamppukuorma. Tämä mittaus ei onnistunutkaan niin nopeasti kuin edelliset, johtuen energiankulutusmittareiden suuresta asteikosta ja pienestä kuormasta. Tarkimman tuloksen saavuttamiseksi kytkin jännitteen päälle ja seurasin milloin mitta-

rin lukema on sellainen, että se olisi mahdollisimman tarkka. Tällöin merkkasin kellonajan muistiin ja jätin mittauksen pyörimään, yleensä seuraavaan päivään asti. Palattuani mittauksen pariin seurasin taas mittarin asteikkoa jolloin lukema olisi mahdollisimman tarkka, ja merkkasin sen hetkisen kellonajan ylös. Nyt minulla oli tieto kulutetusta energiamäärästä ja aika, missä se on kulunut joten pystyin laskemaan tehon.

6 Tulosten analysointi

6.1 Tehon laskeminen matlabilla

Tehon laskeminen tapahtuu laskemalla jännitteen ja virran tulo. Yksinkertaista siis, mutta tässä tapauksessa kun jännitteen ja virran arvoja on 2500 kpl, kannatti käyttää jotain tietokoneohjelmaa joka osaa käsitellä mittausdatan ja suorittaa tarvittavat laskutoimitukset. Ohjelmaksi valikoitui Matlab, jota on hyödynnetty koulussa jo aiemmin. Ohjelmalla voi suorittaa monipuolisia tehtäviä, kuten käsitellä isoja määriä numeerista dataa, josta sitä voi edelleen analysoida ja mallintaa visuaalisesti.

Ohjelmalla laskettiin siis vain tärkein, eli teho. Laskun yhteydessä käsitelin dataa kuitenkin myös sillä tavoin että käytetystä tehosta saadaan esitettyä taajuusspektri, josta näkee mitä ja minkä suuruisia taajuuskomponentteja mittaukset sisältää. Saman asian näyttää myös oskilloskooppi mittaustilanteessa, mutta hyödyllistä siinä tapauksessa kun tuloksia haluaa tarkastella myöhemmin. Käytössä ollut koodinpätkä on nähtävissä työn lopuksi liitteessä 2. Seuraavaksi Matlabin laskemat arvot:

Taulukko 4. Matlabilla lasketut tehonkulutukset

	Teho
4 kpl Airam 11 W	42,51 W
60 W hehkulamppu	57,74 W
60 W hehkulamppu + kondensaattori	57,44 W
Erilaisia energiansäästölamppuja, 95 W	83,79 W

Kuten tuloksista näkee, kaikki laskennalliset tehonkulutukset ovat hieman alanttiin ilmoitettuun nähden ja voidaankin olettaa että tämä on mittauskytkenästä johtuva ilmiö. Täytyy myöskin muistaa että lampuille ilmoitetut arvot ovat myös jonkun toleranssin rajoissa ilmoitettu ja tietyllä käyttöjännitteellä.

6.2 Energiankulutusmittareiden mittaustulokset

Tämän alaotsikon alla esittelen mittaustulokset energiankulutusmittareiden osalta. Luettelon sijaan tulokset on koottu taulukkoon josta niitä on helpompi vertailla.

Taulukko 5. Energiankulutusmittareiden tulokset.

	60 W hehkulamppu	4 kpl Airam 11 W	Erilaisia energiansäästölamppuja, 95 W
Valmet YH6	61,61 W	42,34 W	87,95 W
Valmet Y47	64,35 W	45,13 W	87,30 W
Valmet K5NX		Ei mahdollista	90,43 W
Enermet PK320NXEp		56,44 W	95,58 W

Kaksi ensimmäistä mittaria olivat yksivaihemittareita, joiden kanssa mittaukset onnistuivat hyvin. Jälkimmäiset kaksi olivat kolmivaiheisia, joiden kanssa esiintyi hieman ongelmia. Esimerkiksi Valmet K5NX:ssä totesin olevan käyntiinlähtöherkkyyden liian suuri, joten 4 kpl 11 W lamppuja ei saanut mittaria toimimaan.

Yritin tutkia asiaa ja ainoa tieto mitä löysin, oli K5N-mallisesta mittarista, jossa käyntiinlähtöherkkyys on 33 W. Virallista tietoa tuosta minun käytössäni olevasta mallista ei löytynyt. Enermetin mittari suoriutui hyvin suurimman kuorman kanssa, mutta erikoista kyllä, neljän yksittäisen lampun kanssa mittaustulos oli yli kymmenen wattia isompi lamppujen nimellistehoon nähden.

Lisäksi 3-vaihemittareiden mittaustulokset näyttivät riippuvan suuresti siitä, kuinka mittaria kuormitetaan. Jos kaikki lamput olivat yhdessä vaiheessa, mittauksissa tuli epäkelvoja tuloksia, tästä johtuen hehkulampulla tehdyt mittaukset eivät onnistuneet.

7 Päätelmät

Vaikka mittaustulosten ja laskettujen arvojen välillä eroa onkin, sanoisin että mittarit mittaavat kulutuksen melko tarkasti. Mittareiden lukemista hankaloittaa se, että yleensäkin mittareissa ja sähkölaskuissa muutenkin käytettävä yksikkö on kilowattitunti. Muutamien wattien erot eivät välttämättä tule esille mittaria lukiessa, tai jos jotain eroa tulee niin se voi mennä myös virhemarginaalin piikkiin. Oli tämä kuitenkin hyvä suuntaa-antava työ kyseiseen aiheeseen, osoittautui vain yllättävän hankalaksi esittää tuloksia tarkasti ja luotettavasti, kun kyseessä oli pienet lamppukuormat mutta suuret mittayksiköt. Lamppujen tehon mittaukseen olisi voinut käyttää myös valmiita suurjännitteille tarkoitettuja mittauslaitteita, mutta tällaisia ei ollut käytössäni ja ne olisivat muuttaneet työn luonnetta ratkaisevasti. Kun mittausdata oli numeerisesti tallessa, voitiin siitä saada paljon enemmän irti Matlab-ohjelmaa käyttämällä.

8 Pohdinta

Nyt kun opinnäytetyö on valmis, voin todeta että asettamani tavoitteet on saavutettu ja olen tuloksiin tyytyväinen. Työn edetessä huomasin kuinka paljon teoriaa

sisältyykään hyvin yksinkertaiselta tuntuvaan asiaan, ja kuinka paljon yhdistäviä tekijöitä eri aiheiden välillä löytyi. Huomasin myös kuinka pieni asia saattoi vastustaa työn etenemistä, mutta siitä yli päästyäni asiat taas selkiintyivät ja työn aikana huomasin useasti oppivani aina jotain uutta. Vaikka moni opinnäytetyössä oleva asia on jollain tavalla jo opiskeltu jollain kurssilla aikaisemmin, vasta käytännön yhteydessä asian sisäisti kunnolla ja palaset loksahdivat paikoilleen. Vuosien varrella olenkin huomannut itsestäni sen että minulle oppi menee parhaiten perille käytännön kautta.

Vaikka tuloksista ei ilmennyt mitään kummallista tehon mittauksen suhteen, tuli työssä esille muita mielenkiintoisia asioita joista saa mahdollisesti aihetta tuleviin tutkimuksiin ja töihin. Esimerkiksi sähköverkossa ilmennyt häiriö voisi olla yksi jatkotutkimuksen aihe, asiaan voisi paneutua syvällisemmin selvittäen sen aiheuttajan ja sen, mitä ongelmia siitä voisi mahdollisesti ilmetä. Tekniikan kehittyessä tässä työssä käytössä olleet energiankulutusmittarit ovat pikkuhiljaa siirtyneet käytöstä pois ja korvattu digitaalisilla etäluettavilla mittareilla. Kenties niidenkin toimintaan ja tarkkuuteen voisi perehtyä tarkemmin. Tietoa etsiessä löysin myös artikkeleita, joissa asiantuntijat ovat olleet huolissaan etäluettavien mittareiden tietoturvasta. Koska data kerätään talteen ja lähetetään sähköyhtiölle sähköisesti, on myös mahdollista hakkeroida mittari ja muokata sähkönkulutuksen mittauksia. Energiansäästölamppujenkin tekniikka kehittyy jatkuvasti ja LED-lamput alkavat yleistyä markkinoilla, näidenkin toimintaan ja rakenteeseen voisi olla mielenkiintoista tutustua myös. Lisäksi se että kuinka kilpailu valmistajien kesken vaikuttaa lampun laatuun, energiatehokkuuteen ja hintaan.

Ainoa asia jonka työssä tekisin toisin, olisi kunnollinen aikataulu ja suunnitelma. Asettaisin itselleni selvät aikataulut mihin mennessä mitäkin pitäisi olla valmiina, ettei kirjoitusprosessi jäisi myöhemmäksi. Vaikka teinkin jonkun verran raportointia jo käytännön mittauksia tehdessä, olisi kirjoittamiseen pitänyt varata enemmän aikaa. Suunnittelin että ehdin tehdä sitä myöhemminkin, mutta kun astuin työelämään niin tasapainottelu työn ja opinnäytetyön kirjoittamisen välillä meni hyvin hankalaksi.

Lähteet

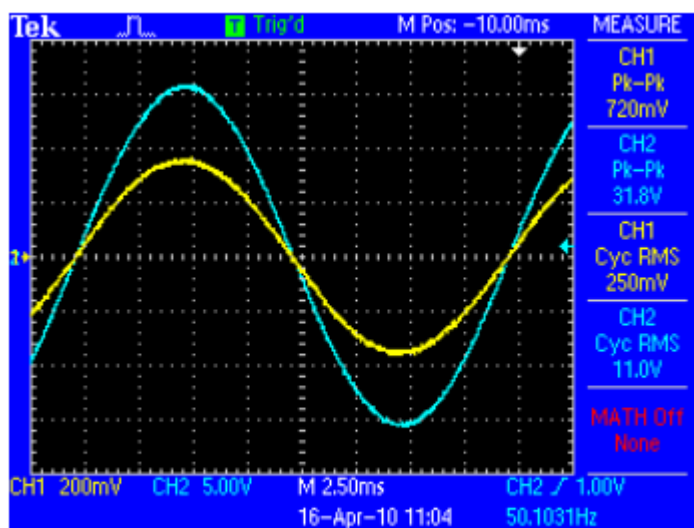
- /1/ Motiva Oy. Lampputieto. 2009. <http://www.lampputieto.fi>. 5.3.2014
- /2/ Motiva Oy. Energiansäästölamppulla säästät. 2009. [http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/vaikuta_hankinnoilla/ va laistus/energiansaastolamppu/](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/vaikuta_hankinnoilla_va_laistus/energiansaastolamppu/). 23.11.2010
- /3/ USA department of the interior. Watt-hour meter maintenance and testing. 2000. http://www.usbr.gov/power/data/fist/fist3_10/vol3-10.pdf. 17.9.2012.
- /4/ Wallin, Pekka, Sähkömittaustekniikan perusteet. Otatieto Oy, Helsinki 1998
- /5/ Fortum Oyj. Fortum Kesto, sähkön hinta. 2014. <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/sahkosopimus/fortum-kesto/fortum-keston-hinta/pages/default.aspx>. 23.11.2014.

Kuvakaappaukset lamppujen mittauksista

Liite 1

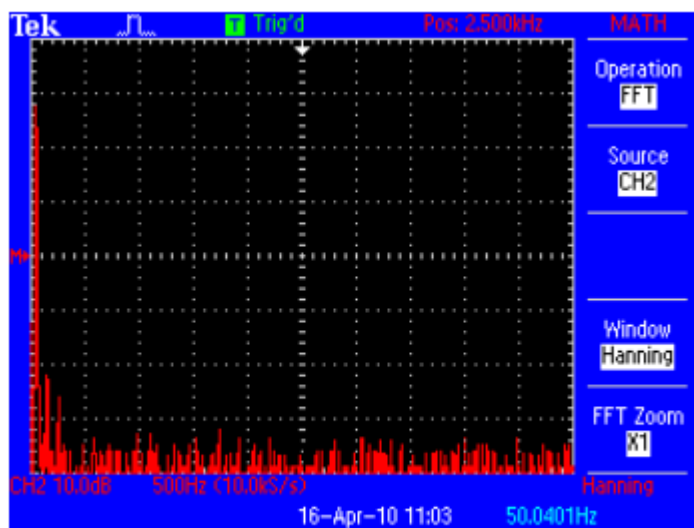
1(6)

Hehkulampun jännite ja virta



TPS 2012 - 12:01:43 16.4.2010

Hehkulampun jännitteen taajuusspektri



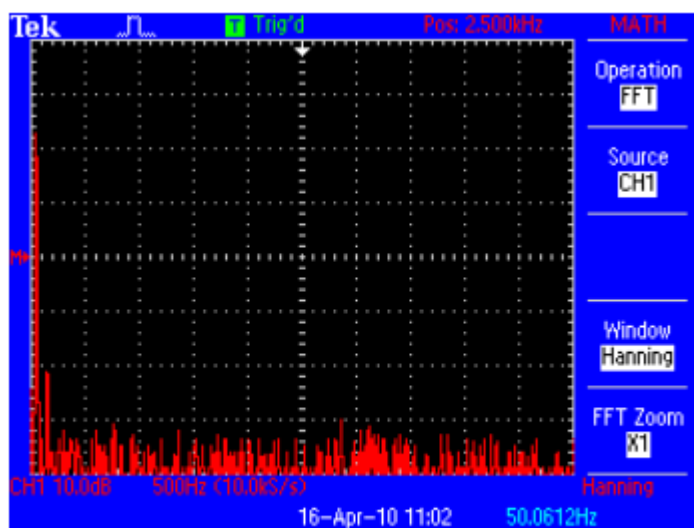
TPS 2012 - 12:00:19 16.4.2010

Kuvakaappaukset lamppujen mittauksista

Liite 1

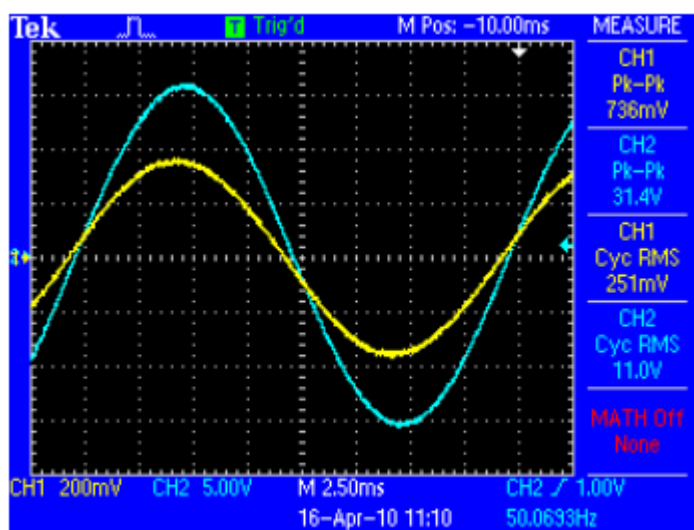
2(6)

Hehkulampun virran taajuusspektri



TPS 2012 - 11:59:10 16.4.2010

Hehkulamppu + kondensaattori, jännite ja virta



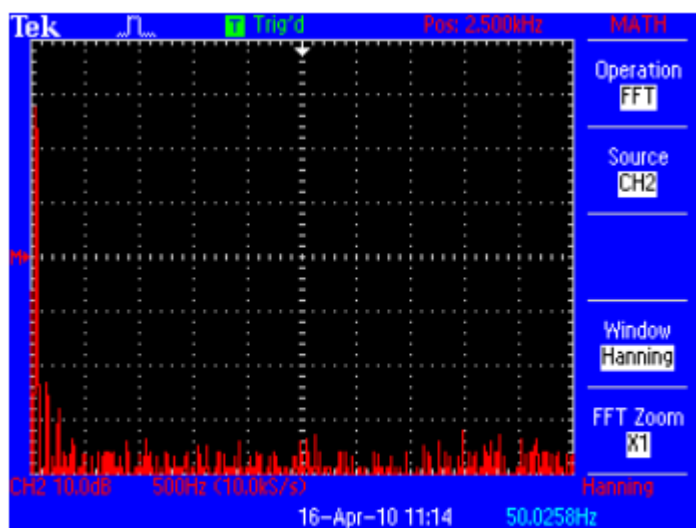
TPS 2012 - 12:07:35 16.4.2010

Kuvakaappaukset lamppujen mittauksista

Liite 1

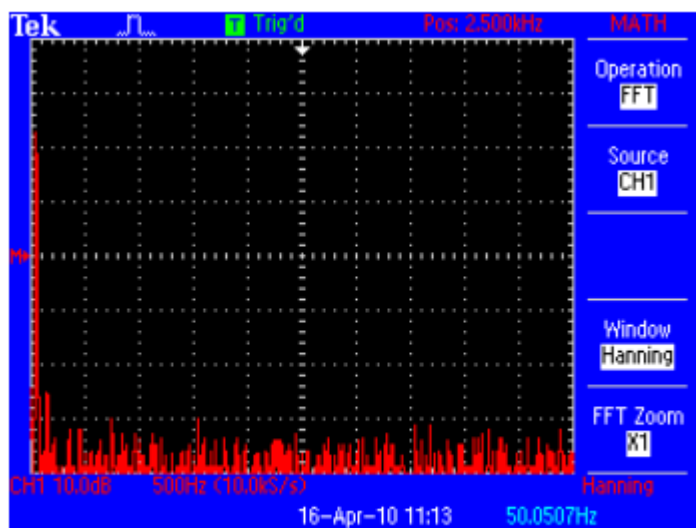
3(6)

Hehkulamppu + kondensaattori, jännitteen taajuusspektri



TPS 2012 - 12:11:24 16.4.2010

Hehkulamppu + kondensaattori, virran taajuusspektri



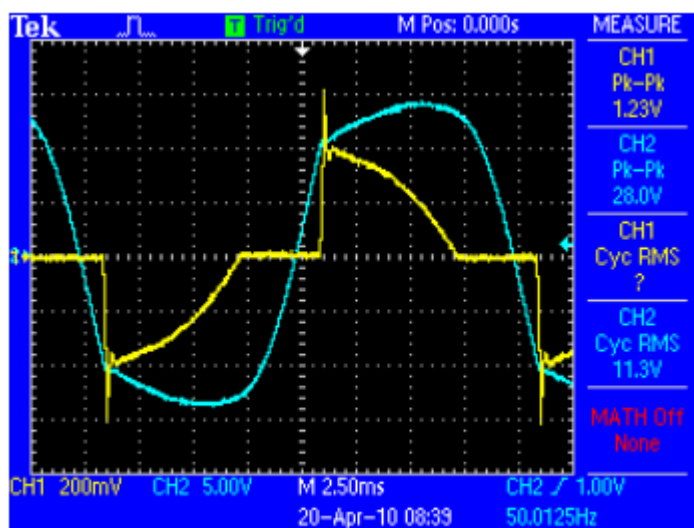
TPS 2012 - 12:10:31 16.4.2010

Kuvakaappaukset lamppujen mittauksista

Liite 1

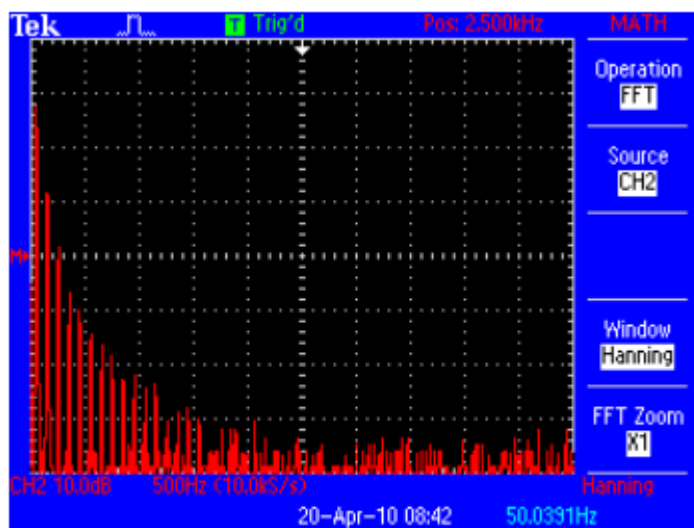
4(6)

4 kpl Airam 11W, jännite ja virta



TPS 2012 - 9:37:06 20.4.2010

4 kpl Airam 11W, jännitteen taajuusspektri



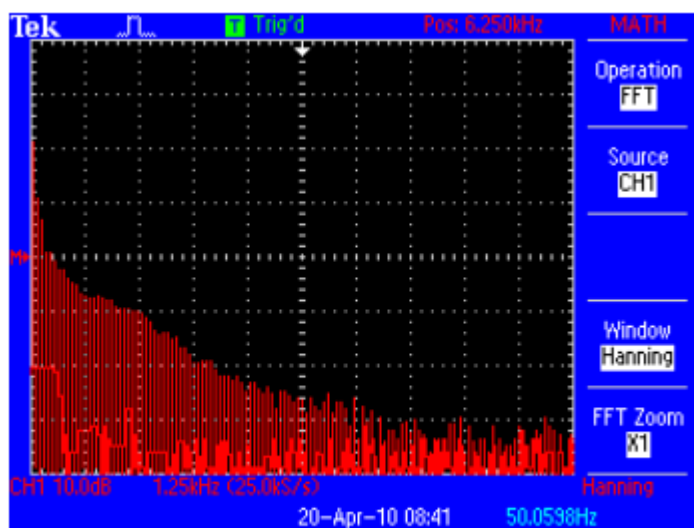
TPS 2012 - 9:39:18 20.4.2010

Kuvakaappaukset lamppujen mittauksista

Liite 1

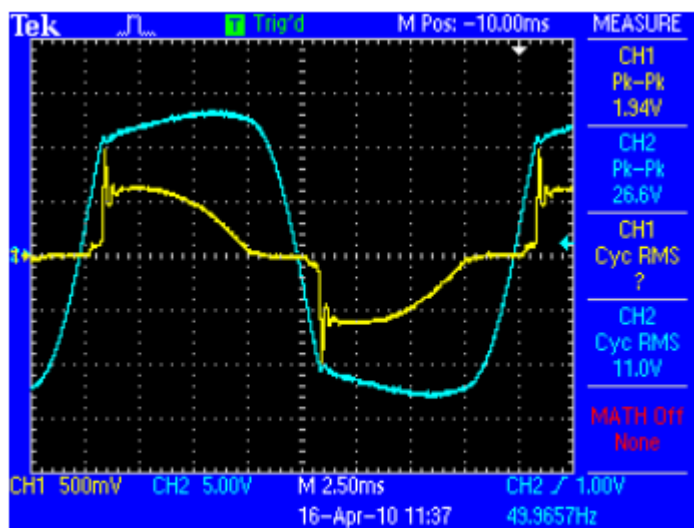
5(6)

4 kpl Airam 11W, virran taajuusspektri



TPS 2012 - 9:38:29 20.4.2010

Viiden lampun kuorma, 95W, jännite ja virta



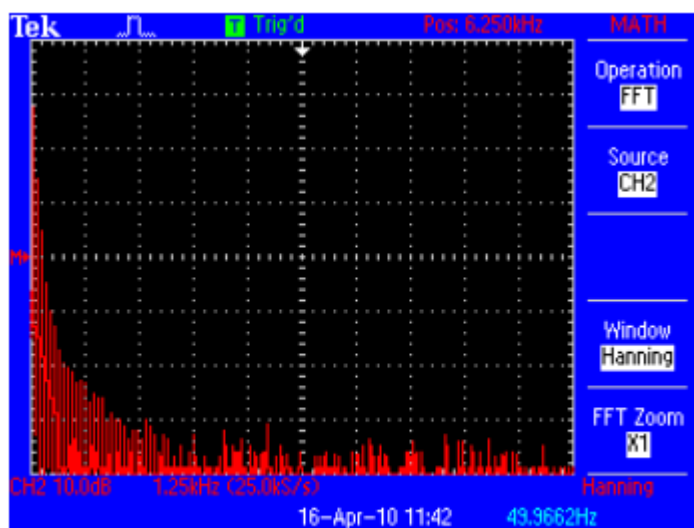
TPS 2012 - 12:34:12 16.4.2010

Kuvakaappaukset lamppujen mittauksista

Liite 1

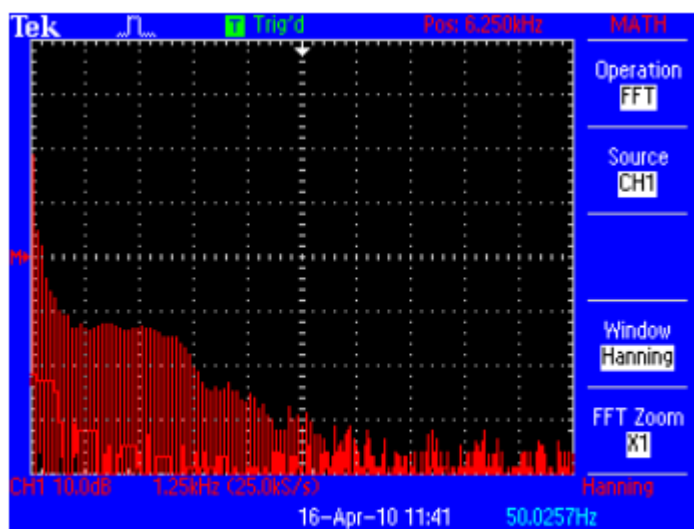
6(6)

Viiden lampun kuorma, 95W, jännitteen taajuusspektri



TPS 2012 - 12:39:40 16.4.2010

Viiden lampun kuorma, 95W, virran taajuusspektri



TPS 2012 - 12:38:34 16.4.2010

Matlabissa käytetty koodi

Liite 2

1(2)

```

data=load('naytteet.txt');
t=data(:,1);
i=data(:,2);
u=data(:,4).*21,296296296296;

p=u.*i
f_s=25000;
t_s=1/f_s;
n=size(i,1)
c=1/n
t_sample=(n-1)*t_s
f_min=1/t_sample

f_max=f_s/2

l=c*fftshift(fft(i));
U=c*fftshift(fft(u));
P=c*fftshift(fft(u));
l_abs=abs(l);
U_abs=abs(U);
P_abs=abs(P);

%Luodaan taajuusvektori
f=-f_s/2:1/t_sample:f_s/2;

%Piirretään taajuusspektri
figure(3)
hold on
plot(f,abs(P),'b')
hold off
title('Tehospektri')
xlabel('Taajuus [Hz]')

```

%Ladataan näytteet
 %Luetaan näytteistä aikatieto
 %Luetaan näytteistä virta
 %Luetaan näytteistä jännite ja skaalataan se
 %Tehon hetkellisarvo
 %Määritellään näytteenottotaajuus
 %Lasketaan yhden näytteen pituus
 %Lasketaan näytteiden määrä
 %Kerroin fft-muunnosta varten
 %Lasketaan näytteiden pituus
 %Lasketaan pienin havaittava taajuuskomponentti
 %Lasketaan suurin havaittava taajuuskomponentti
 %Tehdään virran fft-muunnos
 %Tehdään jännitteen fft-muunnos
 %Tehdään tehon fft-muunnos
 %Virran absoluuttinen arvo
 %Jännitteen absoluuttinen arvo
 %Tehon absoluuttinen arvo

Matlabissa käytetty koodi

Liite 2

2(2)

```
ylabel('Amplitudi [W]')
```

```
%Lasketaan pätöteho
```

```
patoteho=((sum((data(:,2).*(data(:,4).*21.296296296296)))))./n)
```